



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ ⑯ Offenlegungsschrift
DE 101 06 508 A 1

⑯ Int. Cl. 7:
G 01 R 31/36
H 02 J 7/00
B 60 R 16/04
H 01 M 10/42

⑯ Aktenzeichen: 101 06 508.6
⑯ Anmeldetag: 13. 2. 2001
⑯ Offenlegungstag: 29. 8. 2002

DE 101 06 508 A 1

⑯ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

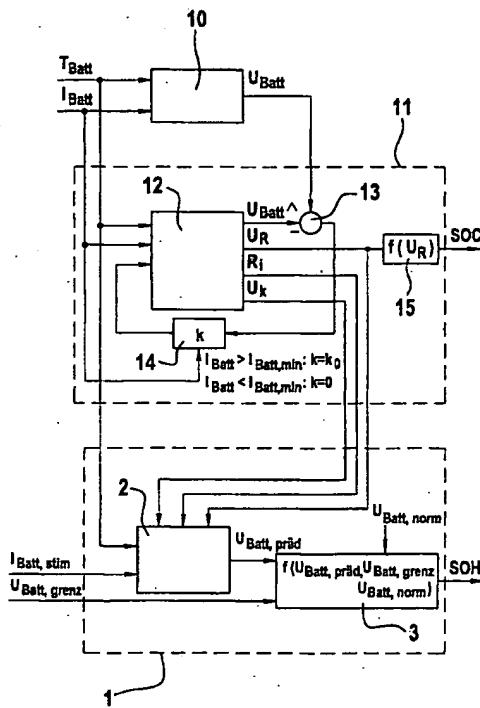
⑯ Erfinder:
Schoch, Eberhard, 70469 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Verfahren und Anordnung zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit einer Batterie

⑯ Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit einer Batterie mit folgenden Schritten:

- Abschätzung einer Ruhespannung U_R , eines Innenwiderstands R_I und eines aufgrund von Dichteunterschieden in der Batteriesäure verursachten inneren Spannungsabfalls U_K der Batterie,
- Initialisierung eines die Batterie beschreibenden Modells zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit mit den abgeschätzten Werte U_R , R_I und U_K ,
- Stimulierung des initialisierten Modells mit einem vorgegebenen Laststromverlauf $I_{Batt,stim}$, insbesondere eines simulierten Laststromverlaufs eines mit der Batterie in Wirkverbindung stehenden Verbrauchers, zum Erhalt einer die Batteriespannung bei dem vorgegebenen Laststromverlauf darstellenden Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ des Modells,
- Vergleich der Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ des Modells mit einer voreinstellbaren minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$ und
- Abschätzen der Leistungsfähigkeit der Batterie durch Vergleich von $U_{Batt,präd}$ und $U_{Batt,grenz}$.



DE 101 06 508 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit einer Batterie, insbesondere einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie.

Stand der Technik

[0002] Beim Einsatz sicherheitskritischer elektrischer Verbraucher, wie beispielsweise break-by-wire oder steer-by-wire-Systemen sowie elektrohydraulischen Bremssystemen (EHB-Systeme) oder Start-Stop-Systemen in einem Kraftfahrzeug müssen die Energiespeicher zur Versorgung dieser Systeme ständig überwacht und insbesondere vor Eintreten einer entsprechenden Belastung auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft werden, um einen Ausfall rechtzeitig erkennen und signalisieren bzw. Maßnahmen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Energiespeicher beispielsweise durch Erhöhung der Ladespannung und/oder Abschalten von Verbrauchern einleiten zu können.

[0003] Zur Vorhersage der Leistungsfähigkeit von Starterbatterien sind verschiedene Verfahren bekannt. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise die für das Leistungsvermögen der Batterien maßgeblichen Größen, wie Ladezustand und Batterieinnenwiderstand beispielsweise durch Auswertung der Ruhespannung sowie Spannungs- und Strommessungen beim Start oder mittels modellbasierter Zustandsbeobachtung bei kontinuierlicher Messung von Spannung, Strom und Temperatur bestimmt, und mit Hilfe dieser Größen eine zu erwartende Leistungsabgabe der Batterie vorausberechnet. Der erstgenannte Verfahrenstyp hat den Nachteil, dass Ladezustand und Innenwiderstand nur bei bestimmten Betriebsbedingungen (Ruhephase bzw. Start) rekaliert werden können. Zu anderen Zeitpunkten sind Extrapolationen notwendig, was zu Fehlern in der Vorhersage der Batterieleistungsfähigkeit führt, insbesondere beim sogenannten Taxibetrieb, bei welchem die Ruhephäsen kaum vorhanden bzw. sehr kurz sind. Außerdem werden bei derartigen Verfahren dynamische Änderungen der Leistungsfähigkeit z. B. nach Starterbatteriebelastung, nicht berücksichtigt.

[0004] Die modellbasierten Verfahren schätzen während des Fahrzeugbetriebes kontinuierlich den Ladezustand und den Innenwiderstand sowie zusätzlich auch dynamische Spannungsabfälle in der Batterie, wodurch eine gute Vorhersage der Leistungsfähigkeit der Batterie möglich ist. Diese Verfahren erweisen sich in der Praxis jedoch als sehr aufwendig, da ein hierbei benötigtes Batteriemodell zur Abdeckung des gesamten Arbeitsbereiches der Batterie in der Regel stark nichtlinear ist und viele zu schätzende Parameter umfasst.

[0005] Ein derartiges Verfahren zur Bestimmung des Ladungszustandes und weiterer physikalischer Größen, wie Verschleißzustand, Alter, Exemplarstreuung, Vorgeschiechte und Ladewirkungsgrad eines wiederaufladbaren elektrischen Energiespeichers, d. h. einer Batterie, ist aus der EP 471698 B1 bekannt. Hierbei werden Prozesseingangsgrößen des Energiespeichers gemessen und in einem Rechner verarbeitet, wobei nach dem Prinzip des indirekten Messens ein vorgebares Modell nichtlinearer mehrparametrischer Funktionen, das den Ladungszustand und die zu bestimmenden physikalischen Größen und ihre physikalischen Beziehungen zueinander repräsentiert, mit den gemessenen Prozesseingangsgrößen verglichen, wobei für die nachfolgende Messung im Falle von Abweichungen die Modellparameter

adaptiert werden. Bei diesem Verfahren ist vorgesehen, dass zur Ermittlung des Ladungszustandes und der zu bestimmenden physikalischen Größen eine vielparametrische Beschreibung in Form des Modells und einer heuristischen

5 Parametrierung verwendet wird, wobei die Beschreibung mehr Parameter aufweist, als Prozesseingangsgrößen und die unterbestimmte Lösungsmenge des Modells zunächst und dann der Ladungszustand und die weiteren physikalischen Größen mit Hilfe der Parametrierung als Schätzung 10 unter Verwendung von Kennlinien und Daten bekannter Energiespeicher bestimmt wird.

[0006] Ziel der Erfindung ist es, ein möglichst einfaches Modell zur Abschätzung eines Batterieverhaltens, insbesondere der Leistungsfähigkeit einer Batterie, bereitzustellen.

Vorteile der Erfindung

[0007] Dieses Ziel ist erreicht durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie eine Anordnung 20 mit den Merkmalen des Patentanspruchs 5.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Leistungsfähigkeit einer Batterie, insbesondere einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie, bezüglich vorgegebener Laststromverläufe, insbesondere Laststromverläufe bestimmter Verbraucher, durch Adaption eines einfachen, für den entsprechenden Belastungsfall gültigen Modells mit einer Minimalzahl zu schätzender Parameter ermittelt. Das Modell kann als Hardware- oder Softwaremodell realisiert sein. Die Bestimmung der Batterieparameter kann während des normalen Fahrbetriebes erfolgen, und ist nicht auf lange Ruhephäsen oder eine Hochstrombelastung beispielsweise während des Starts angewiesen. Somit ist auch eine schnelle Adaption der Parameter nach einem Tausch oder einem Nachladen der Batterie möglich. Neben den statischen Größen wie Ladezustand und Innenwiderstand wird auch der dynamische Spannungsabfall 35 in der Batterie unmittelbar nach einer Lastaufschaltung ermittelt, womit insgesamt eine sehr genaue Vorhersage der Leistungsfähigkeit der Batterie möglich ist.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Anordnung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Vorteilhafterweise werden die im Rahmen der erfindungsgemäßen Abschätzung verwendeten Parameter Ruhespannung U_R , Innenwiderstand R_I und innerer Spannungsabfall U_K unter Verwendung einer Beobachtungseinrichtung, insbesondere eines Kalmanfilters ermittelt, welche auf der Grundlage einer gemessenen Batteriespannung und/oder einer gemessenen Batterietemperatur und/oder eines gemessenen Batteriestroms unter Verwendung eines Modells die Parameter U_R , R_I und U_K abschätzt. Auch dieses Modell kann als Hardware- oder Softwaremodell ausgeführt sein. Es ist vorteilhaft, wenn die beiden erwähnten Modelle zur Beschreibung der Batterie im wesentlichen übereinstimmen.

[0011] Zweckmäßigerweise wird bei dem Vergleich der Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ mit einer voreinstellbaren minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$ der Minimalwert der Spannungsantwort $\min(U_{Batt,präd})$ berücksichtigt. Mittels eines derartigen Vergleichs ist eine eindeutige Aussage möglich, ob die Batterie eine für den sicheren Betrieb des betrachteten Verbrauchers geforderte minimale Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$ zur Verfügung stellen kann.

[0012] Zweckmäßigerweise wird die Leistungsfähigkeit der Batterie unter Verwendung einer Formel der Form

$$65 SOH = (\min(U_{Batt,präd}(t)) - U_{Batt,grenz}) / (U_{Batt,norm} - U_{Batt,grenz})$$

ermittelt, wobei $U_{Batt,norm}$ die bei der Belastung einer neuen, vollbeladenen und ausgeglichenen Batterie mit dem betrachteten Verbraucher auftretende minimale Klemmspannung bei Raumtemperatur ist. Für eine solche Batterie ist $SOH = 1$. Durch Alterung, Entladung und Vorbelastung der Batterie sowie bei niedrigen Temperaturen dürfte der Spannungseinbruch größer und der SOH -Wert kleiner sein. Bei $SOH = 0$ wird die Minimalanforderung gerade noch erfüllt. Es sei darauf hingewiesen, dass SOH die übliche Abkürzung für den englischen Begriff "State Of Health" der Batterie darstellt.

[0013] Er erweist sich ferner als vorteilhaft, auf der Grundlage der ermittelten Ruhespannung den Ladezustand (SOC) der Batterie zu ermitteln. Hiermit ist eine weitere statische Größe zur Beschreibung des Batteriezustandes zur Verfügung gestellt. Neben den statischen Größen wie Ladezustand und Innenwiderstand ist nun, da auch der dynamische Spannungsabfall in der Batterie unmittelbar nach einer Lastaufschaltung, wie oben beschrieben, ermittelbar ist, eine sehr genaue Vorhersage der Leistungsfähigkeit der Batterie möglich.

Zeichnung

[0014] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nun anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigt

[0015] Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild zur Darstellung der erfindungsgemäß vorgesehenen Abschätzung der Leistungsfähigkeit einer Batterie, und

[0016] Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0017] In Fig. 1 ist eine Fahrzeughbatterie insgesamt mit 10 bezeichnet. Die Batterie 10 weist einen Batteriestrom I_{Batt} , eine Batterietemperatur T_{Batt} und eine Batteriespannung U_{Batt} auf, welche jeweils gemessen werden.

[0018] Die genannten Messwerte werden auf eine insgesamt mit 11 bezeichnete Beobachtungseinrichtung, beispielsweise einen Kalman-Filter gegeben. Die Beobachtungseinrichtung 11 setzt ein die Batterie 10 abbildendes Modell, hier der Einfachheit halber mit 12 bezeichnet, ein. Das Modell 12 schätzt aufgrund der Eingangsgröße T_{Batt} und I_{Batt} eine geschätzte Batteriespannung U_{Batt}^{\wedge} . Hierbei wird die Modellrechnung durch Rückkopplung des Fehlers $U_{Batt} - U_{Batt}^{\wedge}$ zwischen gemessener und berechneter Batteriespannung abgeglichen (Komparator 13).

[0019] Es ist vorteilhaft, den Modellabgleich nur bei Vorliegen von für die Modellgültigkeit relevanten Arbeitspunkten durchzuführen, beispielsweise für den Fall (wenn Entladeströme positiv gezählt werden), dass der Entladestrom der Batterie $10 > 0$ ist, d. h. $I_{Batt} > I_{Batt,min}$. Für diesen Fall wird bei 14 ein Wert $k = k_0 \times (U_{Batt} - U_{Batt}^{\wedge})$ in die Modellrechnung als dritte Eingangsgröße neben den Messwerten T_{Batt} und I_{Batt} eingespeist.

[0020] In den übrigen Arbeitspunkten, für die gilt $I_{Batt} \leq I_{Batt,min}$, wird die Rückkopplung des Fehlers in die Rechnung unterbrochen, d. h. k wird gleich 0 gesetzt. Es ist möglich, in einem derartigen zweiten Arbeitsbereich die Ruhespannung U_R der Batterie aus dem Stromintegral $Q = -I_{Batt} \cdot t$ und der zuletzt, insbesondere während des Vorliegens des ersten Arbeitsbereiches geschätzten Ruhespannung U_R gemäß der Gleichung $U_R = U_{R0} + Q/C$ zu berechnen.

[0021] Für beide Arbeitsbereiche wird der sich aus der Rechnung bzw. Abschätzung mittels der Einrichtung 11 ergebende Ruhespannungswert U_R einer weiteren funktionalen Beaufschlagung zum Erhalt des Batterieladezustands SOC (englisch: State Of Charge) unterzogen. Der Batterie-

zustand wird zweckmäßigerweise gemäß einer Gleichung der Formel $SOC = f(U_R) = (U_R - U_{R,min})/(U_{R,max} - U_{R,min})$ bestimmt. Die funktionale Beaufschlagung des ermittelten Ruhespannungswertes U_R erfolgt bei 15.

[0022] $U_{R,min}$ bzw. $U_{R,max}$ bezeichnen hierbei die minimale bzw. maximale Ruhespannung bei den vom Batteriehersteller angegebenen Werten der Säuredichte für eine leere bzw. vollgeladene Batterie.

[0023] Man erkennt, dass mittels des Modells 12 zusätzlich zur Ruhespannung U_R auch der Innenwiderstand R_I und der innere Spannungsabfall U_K , der von Dichteunterschieden in der Batteriesäure verursacht ist, geschätzt wird. Mit diesen Abschätzungsergebnissen des Modells 12 liegen die wesentlichen Parameter zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Batterie vor.

[0024] Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Batterie 10 werden die geschätzten Werte U_R , R_I und U_K einem Prädiktor, der insgesamt mit 1 bezeichnet ist, zugeführt, welcher das gleiche Modell zur Beschreibung der Batterie

10 wie das Kalman-Filter 11 enthält. Die Modelle geben das Batterieverhalten in einem betrachteten Belastungsfall ausreichend genau wieder. Das dem Modell 12 entsprechende Modell ist hier mit 2 bezeichnet.

[0025] Das Modell 2 wird mit den von dem Kalman-Filter 11 ermittelten Größen U_R , R_I und U_K initialisiert und mit einem für einen betrachteten verbrauchertypischen Laststromverlauf $I_{Batt,stim}(t)$ stimuliert. Als betrachtete Verbraucher kommen beispielsweise eine elektromagnetische Bremse (EMB), eine elektrohydraulische Bremse (EHB) oder eine Startereinrichtung in Frage.

[0026] Auf der Grundlage der Eingangsgrößen $I_{Batt,stim}$, U_R , R_I und U_K wird mit Hilfe des Modells 2 die Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ der Batterie bezüglich des vorgegebenen Laststromverlaufes abgeschätzt. Die Differenz aus dem Minimalwert der Spannungsantwort, $\min(U_{Batt,präd}(t))$ des Modells aufgrund der stimulierten Belastung und der für den sicheren Betrieb des betrachteten Verbrauchers geforderten minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$ stellt ein absolutes Maß für die Leistungsfähigkeit der Batterie 10 dar.

[0027] Diese Differenzbildung $\Delta U_{Batt} = \min(U_{Batt,präd}(t)) - U_{Batt,grenz}$ wird in einem Komparator 3 des Prädiktors 1 durchgeführt.

[0028] Für den Vergleich verschiedener Batterien eignet sich das mit SOH (engl. State of Health) bezeichnete Maß besser. Hierbei wird gemäß der Formel

$$SOH = (\min(U_{Batt,präd}(t)) - U_{Batt,grenz}) / (U_{Batt,norm} - U_{Batt,grenz})$$

[0029] das Batterieleistungsfähigkeitsmaß SOH ermittelt. $U_{Batt,norm}$ ist die bei der Belastung einer neuen, vollgeladenen und ausgeglichenen Batterie mit dem betrachteten Verbraucher auftretende minimale Klemmspannung bei Raumtemperatur. Für eine solche Batterie gilt $SOH = 1$. Durch Alterung, Entladung und Vorbelastung der Batterie sowie bedingt durch niedrige Temperaturen wird der von der Belastung verursachte Spannungseinbruch größer und somit der SOH -Wert kleiner. Bei $SOH = 0$ werden die minimalen Anforderungen an die Batterie gerade noch erfüllt.

[0030] Die wesentlichen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens werden nun anhand der Fig. 2 erläutert.

[0031] In einem Schritt 201 erfolgt eine Messung der Batterietemperatur T_{Batt} , des Batteriestroms I_{Batt} und der Batteriespannung U_{Batt} . In einem Schritt 202 werden unter Zuhilfenahme eines ein die Batterie darstellenden Modells 12 verwendenden Kalman-Filters die Ruhespannung U_R , der Innenwiderstand R_I und der Spannungsabfall U_K aufgrund von Dichteunterschieden in der Batteriesäure abgeschätzt.

Ein hierbei ebenfalls abgeschätzter Batteriespannungswert U_{Batt}^A kann mit dem gemessenen Batteriespannungswert U_{Batt} abgeglichen und ebenfalls in das Modell 12 als Eingangsgröße eingespeist werden. Der Ruhespannungswert U_R wird vorteilhafterweise auch zur Berechnung des Ladezustands SOC der Batterie verwendet werden (Schritt 203). [0031] In einem anschließenden Schritt 204 erfolgt in einem Prädiktor aufgrund eines Modells 2, welches vorteilhafterweise das gleiche Batteriemodell wie das Modell 12 beschreibt, die Abschätzung einer Spannungsantwort $U_{Batt,präd}(t)$ der Batterie aufgrund einer simulierten Belastung durch einen jeweils betrachteten Verbraucher. Zu diesem Zwecke wird die Modellrechnung mittels der Größen U_R , R_I und U_K initialisiert und mit dem für den betrachteten verbrauchertypischen Laststromverlauf $I_{Batt,stim}(t)$ stimuliert.

[0032] In einem anschließenden Schritt 205 erfolgt ein Vergleich der Spannungsantwort $U_{Batt,präd}(t)$ mit einer für den sicheren Betrieb des betrachteten Verbrauchers geforderten minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$. Zweckmäßigerverweise wird hierbei die Differenz aus dem Minimalwert der Spannungsantwort ($\min(U_{Batt,präd}(t))$) des Modells auf die Belastung und der für den sicheren Betrieb des betrachteten Verbrauchers geforderten minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$ berechnet.

[0033] In einem anschließenden Schritt 206 wird auf der Grundlage des ermittelten Spannungsdifferenzwertes $\Delta U_{Batt} = \min(U_{Batt,präd}(t)) - U_{Batt,grenz}$ gemäß der oben angegebenen Formel der Wert SOH als relatives Maß zur Darstellung der Batterieleistungsfähigkeit berechnet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit einer Batterie mit folgenden Schritten:

- Abschätzung einer Ruhespannung U_R , eines Innenwiderstands R_I und eines aufgrund von Dichteunterschieden in der Batteriesäure verursachten inneren Spannungsabfalls U_K der Batterie,
- Initialisierung eines die Batterie beschreibenden Modells zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit mit den abgeschätzten Werten U_R , R_I und U_K ,
- Stimulierung des initialisierten Modells mit einem vorgegebenen Laststromverlauf $I_{Batt,stim}$, insbesondere eines simulierten Laststromverlaufs eines mit der Batterie in Wirkverbindung stehenden Verbrauchers, zum Erhalt einer die Batteriespannung bei dem vorgegebenen Laststromverlauf darstellenden Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ des Modells,
- Vergleich der Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ des Modells mit einer voreinstellbaren minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$, und
- Abschätzen der Leistungsfähigkeit der Batterie durch Vergleich von $U_{Batt,präd}$ und $U_{Batt,grenz}$.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ruhespannung U_R , der Innenwiderstand R_I und der innere Spannungsabfall U_K mittels einer Beobachtungseinrichtung, insbesondere eines Kalman-Filters ermittelt werden, welcher auf der Grundlage einer gemessenen Batteriespannung und/oder einer gemessenen Batterietemperatur und/oder eines gemessenen Batteriestroms unter Verwendung eines die Batterie beschreibenden Modells die Werte U_R , R_I und U_K abschätzt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Vergleich der Spannungsantwort $U_{Batt,präd}$ mit der voreinstellbaren

minimalen Batteriespannung $U_{Batt,grenz}$ der über die Zeit minimale Wert der Spannungsantwort, $\min(U_{Batt,präd})$ verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsfähigkeit der Batterie unter Verwendung einer Formel der Form

$$SOH = (\min(U_{Batt,präd}(t)) - U_{Batt,grenz}) / (U_{Batt,norm} - U_{Batt,grenz})$$

ermittelt, wobei $U_{Batt,norm}$ die bei der Belastung einer neuen, vollbeladenen und ausgeglichenen Batterie mit dem betrachtenden Verbraucher auftretende Klemmenspannung bei Raumtemperatur ist.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Grundlage der abgeschätzten Ruhespannung U_R der Ladezustand (SOC) der Batterie ermittelt wird.

6. Anordnung zum Abschätzen einer Leistungsfähigkeit einer Batterie, insbesondere einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie, mit einem Prädiktor (1) zum Abschätzen einer bei einem bestimmten Laststromverlauf $I_{Batt,stim}$ auftretenden Batteriespannung $U_{Batt,präd}$, wobei einem von dem Prädiktor (1) verwendeten Modell (2) zur Darstellung der Batterie als Eingangsgrößen die Ruhespannung U_R , der Innenwiderstand R_I und der aufgrund von Dichteunterschieden in der Batteriesäure verursachte innere Spannungsabfall U_K sowie der bestimmte Laststromverlauf $I_{Batt,stim}$ zuführbar sind, und eine als Antwort des Modells (2) erhaltene abgeschätzte Batteriespannung $U_{Batt,präd}$, welche eine Abschätzung der Batteriespannung bezüglich des Laststromverlaufes $I_{Batt,stim}$ darstellt, zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit der Batterie mit einer Grenzspannung $U_{Batt,grenz}$ verglichen wird.

7. Anordnung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch eine Beobachtungseinrichtung (11), insbesondere einen Kalman-Filter, mittels dessen die verwendeten Parameter U_R , R_I und U_K abschätzbar sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

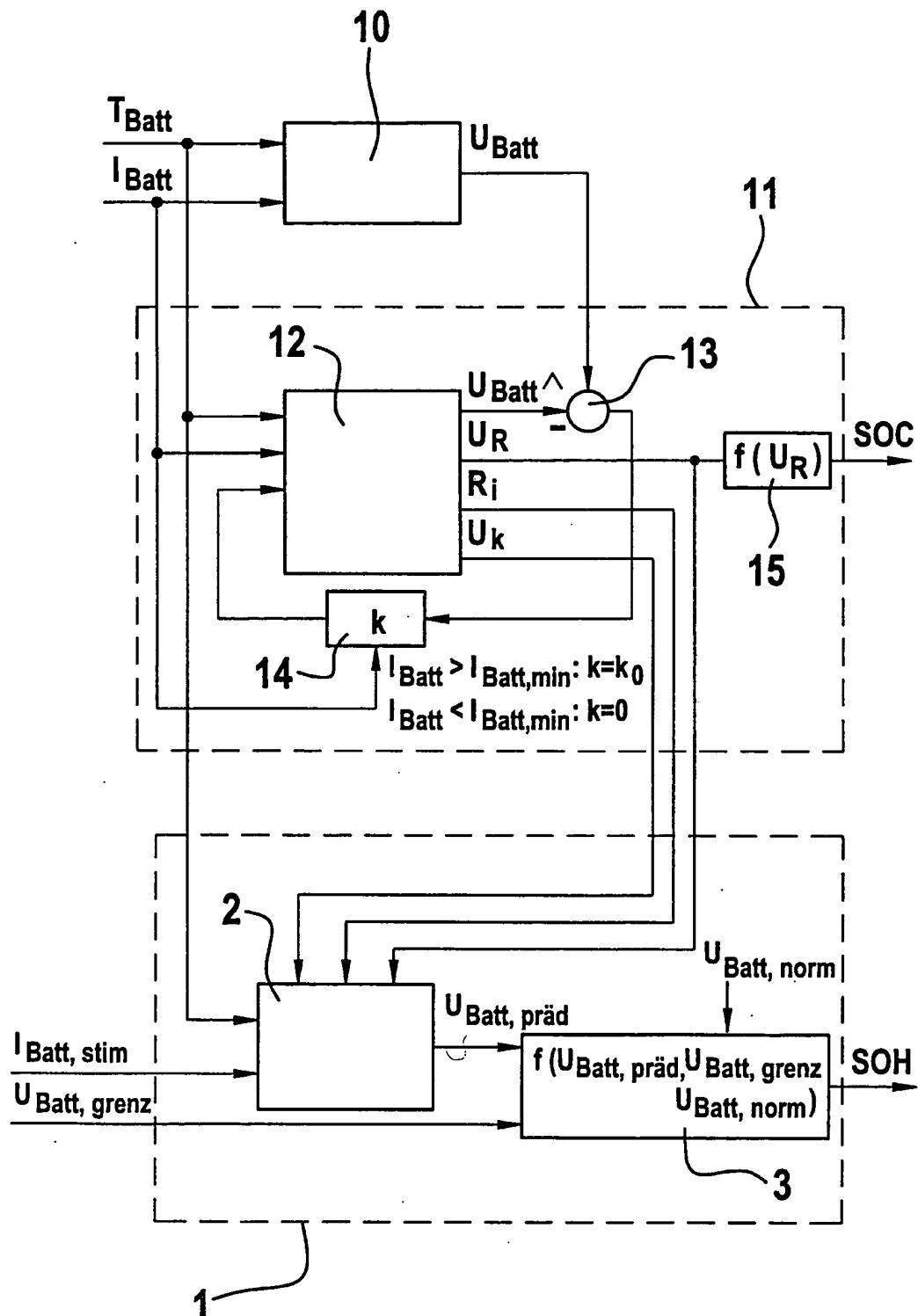


FIG. 2

